

WPLYW LUZU ZAWOROWEGO NA POZIOMY MIAR PUNKTOWYCH SYGNAŁU DRGANIOWEGO W ASPEKCIE DIAGNOSTYCZNYM

Franciszek TOMASZEWSKI, Grzegorz M. SZYMAŃSKI

Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu
ul. Piotrowo 3, 60-965, Poznań,
e-mail: franciszek.tomaszewski@put.poznan.pl
grzegorz.m.szymanski@put.poznan.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące zastosowania poziomów wybranych miar punktowych sygnału drganiowego do oceny luzu zaworów silnika spalinowego. Wskazano konieczność zastosowania złożonego procesu wstępnej obróbki sygnału przyspieszeń drgań, przed wykonaniem obliczeń poziomów miar punktowych charakteryzujących sygnał wibroakustyczny, w celu zmniejszenia ryzyka błędnej diagnozy.

Słowa kluczowe: luz zaworowy, sygnał drganiowy, silnik spalinowy.

THE INFLUENCE OF VALVES CLEARANCE VALUE ON VIBRATION SIGNAL POINT ESTIMATORS' LEVEL IN DIAGNOSTICS ASPECT

Summary

The paper presents research results concerning the possibility of use the chosen point measures of a vibration signal for the diagnosis of a valve clearance in the internal combustion engine. The authors have pointed the necessity of use the complex process preparing an acceleration signal, before the calculation of the point measures describing the vibroacoustic signal will be done. The aim of the complex process use is to decrease the risk of a false diagnosis.

Keywords: valve clearance, vibration signal, diagnostic, internal combustion engine.

1. WPROWADZENIE

Silniki spalinowe są powszechnie stosowanym źródłem napędu pojazdów mechanicznych i urządzeń stacjonarnych. Jednym z głównych zespołów tłokowego silnika spalinowego jest układ rozrządu, który steruje wymianą ładunku. Prawidłowe działanie układu rozrządu jest możliwe tylko wtedy, kiedy parametry regulacyjne mają optymalne wartości. Głównymi parametrami regulacyjnymi rozrządu silnika spalinowego są: luz zaworowy (między trzonkiem zaworu, a dźwignią lub krzywką) oraz fazy rozrządu.

Luz zaworowy jest parametrem regulacyjnym, który należy okresowo sprawdzać. Nieprawidłowo wyregulowany luz zaworów jest przyczyną pogorszenia efektywności pracy silnika spalinowego, zwiększenia emisji związków toksycznych do atmosfery, a także może doprowadzić do uszkodzenia elementów układu rozrządu silnika spalinowego np. nadpalenie przylgni zaworów lub gniazd zaworowych.

Zastosowanie automatycznej kompensacji luzów zaworowych umożliwi wyeliminowanie konieczności okresowej regulacji luzu zaworów w silnikach spalinowych. Jednak wprowadzenie do

układu rozrządu dodatkowych mas powoduje zwiększenie sił bezwładności, poza tym dodatkowe urządzenie zwiększa prawdopodobieństwo awarii, ponieważ jest włączone szeregowo w łańcuchu kinematycznym układu rozrządu. Konsekwencją uszkodzenia automatycznego kompensatora luzu zaworowego jest niekontrolowany wzrost luzu zaworów, którego skutki przedstawiono powyżej. Zachodzi zatem również potrzeba diagnozowania luzu zaworów silników spalinowych z automatyczną kompensacją luzów zaworowych.

Celem badań jest ocena przydatności wybranych miar punktowych sygnału drgań generowanego przez głowicę silnika spalinowego do oszacowania luzów zaworów oraz przedstawienie procesu wstępnej obróbki sygnału przyspieszeń drgań dla optymalnego wykorzystania zawartej w nim informacji o stanie luzu zaworowego.

Nieprawidłowe ustawienie faz rozrządu może wystąpić z powodu błędnego ustawienia elementów silnika podczas montażu, wchodzących w skład napędu układu rozrządu lub w wyniku awarii napędu rozrządu np. zmiana położenia koła zębatego względem wału korbowego.

2. MIARY PUNKTOWE I ICH POZIOMY STOSOWANE W ANALIZIE SYGNAŁÓW DRGANIOWYCH

Miary punktowe są jednym ze sposobów opisu sygnałów przemieszczeń, prędkości lub przyspieszeń drgań [1, 2]. Pozwalają scharakteryzować sygnał drganiowy przy pomocy jednej liczby. Dzięki takiemu opisowi parametrów drgań, łatwo określić zmiany w sygnale wibroakustycznym będące wynikiem zmian stanu technicznego obiektu. Miary punktowe stosowane w diagnostyce wibroakustycznej (DWA) można podzielić zgodnie z [1] na wymiarowe i bezwymiarowe. Do miar punktowych wymiarowych należą:

$$s_{AVERAGE} = \frac{1}{T} \int_0^T |s(t)| dt \quad (1)$$

uwzględnia każdą wartość amplitudy chwilowej sygnału drgań,
amplituda skuteczna:

$$s_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [s(t)]^2 dt} \quad (2)$$

uwzględnia duże wartości amplitudy chwilowej, jest najczęściej stosowaną miarą punktową ze względu na proporcjonalność do mocy procesu, amplituda pierwiastkowa:

$$s_{SQUARE} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T |s(t)|^{\frac{1}{2}} dt \right]^2 \quad (3)$$

uwzględnia małe wartości amplitudy chwilowej sygnału drgań,
amplituda szczytowa:

$$s_{PEAK} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T |s(t)|^{\infty} dt \right]^{\frac{1}{\infty}} \quad (4)$$

jest używana do oceny procesów impulsowych np. luzu, uderzenia itp.

Dyskryminanty bezwymiarowe są ilorazami odpowiednich miar punktowych wymiarowych, zalicza się do nich następujące wielkości:

$$K = \frac{s_{RMS}}{s_{AVERAGE}} \quad (5)$$

współczynnik szczytu:

$$C = \frac{s_{PEAK}}{s_{RMS}} \quad (6)$$

współczynnik impulsowości:

$$I = \frac{s_{PEAK}}{s_{AVERAGE}} \quad (7)$$

współczynnik luzu:

$$L = \frac{s_{PEAK}}{s_{SQUARE}} \quad (8)$$

kurtoza:

$$\beta = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T [s(t)]^4 dt}{\left[\frac{1}{T} \int_0^T [s(t)]^2 dt \right]^2} \quad (9)$$

W zależnościach (1) do (9) zastosowano następujące oznaczenia:

$s(t)$ – chwilowa wartość amplitudy przemieszczeń, prędkości lub przyspieszeń drgań,

t – czas,

T – czas uśredniania.

W pracach [1, 5] udowodniono, że z punktu widzenia przydatności diagnostycznej miary punktowe bezwymiarowe można uszeregować w porządku rosnącej wartości K , C , β , I , L .

Miary punktowe wymiarowe można przedstawić za pomocą wartości bezwzględnych lub stosując poziomy wyrażone w decybelach. Decybel dla wielkości energetycznej można zapisać za pomocą zależności (10), natomiast dla wielkości podstawowej równaniem (11):

$$1 \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{x}{x_0} \quad (10)$$

$$1 \text{ dB} = 20 \log_{10} \frac{x}{x_0} \quad (11)$$

gdzie: x – wartość miary punktowej,

x_0 – wartość odniesienia (dla przyspieszeń drgań 10^{-6} m/s^2).

Różnica w równaniach 10 i 11 wynika z faktu, że wielkości energetyczne są wprost proporcjonalne do kwadratu wielkości podstawowych.

3. METODYKA I OBIEKT BADAŃ

Badania przeprowadzono zgodnie z opracowaną własną metodyką. Do realizacji badań użyto badawczego silnika spalinowego o ZS typu SB 3.1. W trakcie badań przyjęto następujące parametry pracy silnika: prędkość obrotowa 700 obr/min, bez obciążenia, temperatura cieczy chłodzącej 75°C .

Badania zostały przeprowadzone zgodnie z zasadami eksperymentu czynnego, tzn. zmieniano wartość luzu pomiędzy trzonkiem zaworów, a dźwignią zaworową i równocześnie rejestrowano zmiany zachodzące w wartościach poziomów miar punktowych sygnałów przyspieszeń drgań. Luzu zaworowe zmieniano w zakresie $0,3 \div 1 \text{ mm}$ z krokiem $0,1 \text{ mm}$.

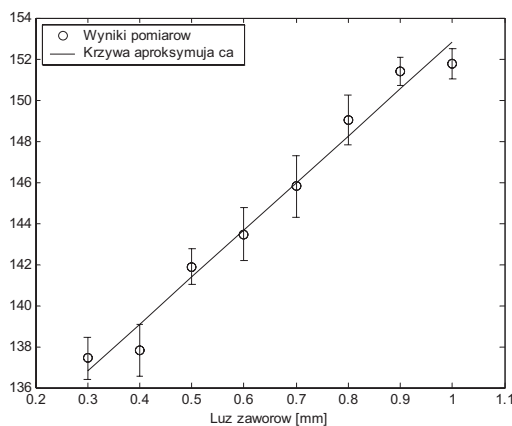
Akwizycji poddano sygnały przyspieszeń drgań w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, sygnał ciśnienia panującego w cylindrze oraz sygnał ze znacznika kąta obrotu wału korbowego. Do rejestracji przebiegów czasowych wymienionych wielkości użyto zestawu pomiarowego składającego się z piezoelektrycznych przetworników przyspieszeń drgań

i ciśnienia, wzmacniaczy ładunku, znacznika kąta obrotu wału korbowego oraz rejestratora.

Szczegółowe założenia dotyczące opracowania metodyki badań nad wpływem luzu zaworów silnika spalinowego na wybrane charakterystyki sygnałów drgań przedstawiono w pracach [2, 3].

4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analizie poddano sygnały drganiowe w kierunku równoległym do osi wału korbowego (kierunek x), ponieważ ich parametry umożliwiały jednoznaczne określenie wartości luzu zaworowego. Przed obliczeniem miar punktowych, sygnały poddano wstępnej obróbce polegającej na selekcji czasowej. Oznacza to, że w obliczeniach uwzględniono tylko te odcinki przebiegów czasowych przyspieszeń drgań, które czasowo były związane z momentem zamykania zaworów. Operacja selekcji czasowej była konieczna, ponieważ bez jej zastosowania obliczone miary punktowe sygnałów przyspieszeń drgań charakteryzowały się niewystarczającą dynamiką zmian (do celów diagnostycznych) w funkcji luzu zaworowego. Na podstawie tak przygotowanego sygnału obliczono poziomy miar punktowych, które są najbardziej wrażliwe na zmiany luzów w układach mechanicznych – wartość szczytową i międzyszczytową przyspieszeń drgań. Na rysunku 1 przedstawiono zależność poziomu szczytowej wartości przyspieszeń drgań w funkcji luzu zaworów silnika spalinowego, którą aproksymowano (metodą najmniejszych kwadratów) funkcją liniową.



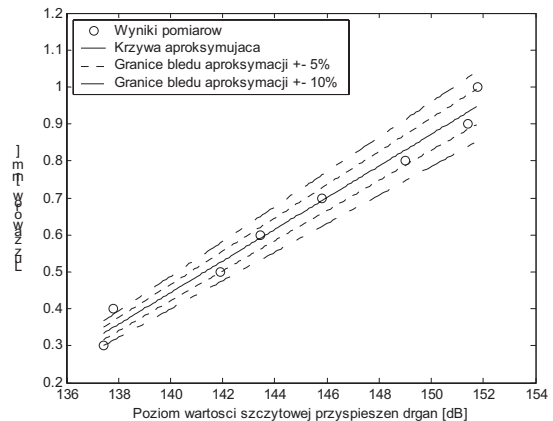
Rys. 1. Zależność poziomu wartości szczytowej przyspieszeń drgań od luzu zaworów silnika spalinowego SB 3.1

W wyniku aproksymacji otrzymano równanie krzywej (12), którego graficzną reprezentację zaznaczono na rys. 1. W trakcie badań wyznaczono dynamikę zmian parametru sygnału drgań, która wyniosła 14 dB.

$$pa_{x, \text{PEAK}} = 22,9 \cdot luz + 130 \quad (12)$$

Podstawowym celem badań diagnostycznych jest określenie luzu zaworów na podstawie znanych wartości parametrów przyspieszeń drgań; w tym celu przeprowadzono obliczenia w oparciu o krzywą aproksymującą. W równaniu za zmienną objaśniającą przyjęto poziom wartości szczytowej przyspieszeń drgań, a za zmienną objaśnianą luz zaworów. W wyniku obliczeń współczynników aproksymacji otrzymano krzywą opisaną równaniem (13) przedstawioną na rys. 2.

$$luz = 0,04 \cdot pa_{x, \text{PEAK}} - 5,6 \quad (13)$$



Rys. 2. Zależność luzu zaworów silnika spalinowego SB 3.1 od poziomu wartości szczytowej przyspieszeń drgań

Wartość współczynnika R^2 pomiędzy wynikami pomiarów, a wartościami uzyskanymi w trakcie obliczeń wykorzystując zależność (11) wyniosła 0,98, co oznacza dobre odwzorowanie rzeczywistych pomiarów w modelu matematycznym opisującym zmiany luzu zaworów w zależności od wartości szczytowej przyspieszeń drgań.

Na rys. 3 przedstawiono zależność poziomu międzyszczytowej wartości przyspieszeń drgań w funkcji luzu zaworów silnika spalinowego.

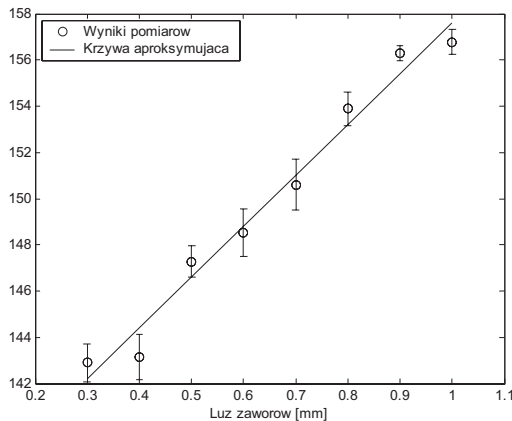
Dynamika zmian poziomu wartości międzyszczytowej przyspieszeń drgań w funkcji luzu zaworów wyniosła aż 14 dB. Na podstawie wyznaczonych punktów przeprowadzono aproksymację metodą najmniejszych kwadratów. Aproksymowaną krzywą przedstawiono równaniem (14) oraz zaznaczono na rys. 3.

$$pa_{x, \text{PEAK to PEAK}} = 22 \cdot luz + 136 \quad (14)$$

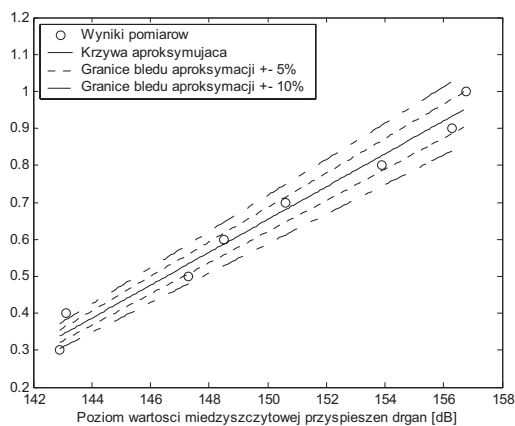
W celu oszacowania luzu zaworów na podstawie poziomu wartości międzyszczytowych sygnału przyspieszeń drgań wyznaczono model matematyczny w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów. Wynikiem aproksymacji jest krzywa opisana równaniem (15) przedstawiona na rys. 4.

$$luz = 0,04 \cdot pa_{x, \text{PEAK to PEAK}} - 6 \quad (15)$$

gdzie: $pa_{x, \text{PEAK to PEAK}}$ – poziom wartości międzyszczytowej przyspieszeń drgań [dB],
 luz – luz zaworów [mm].



Rys. 3. Zależność luzu zaworów silnika spalinowego SB 3.1 od poziomu wartości międzyszczytowej przyspieszeń drgań



Rys. 4. Zależność luzu zaworów silnika spalinowego SB 3.1 od wartości szczytowej przyspieszeń drgań

Na podstawie wyników pomiarów i obliczeń, wykorzystując zależność (14) wyznaczono współczynnik R^2 , który wyniósł 0,98. Oznacza to dobre odwzorowanie rzeczywistych pomiarów w modelu matematycznym opisującym zmiany luzu zaworów w zależności od kurtozy przyspieszeń drgań.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych analiz wpływu luzu zaworów rozrządu na poziom wybranych miar punktowych sygnałów przyspieszeń drgań stwierdzono, że do oszacowania luzu zaworów w badanym silniku spalinowym najbardziej przydatne są poziomy wartości szczytowej i międzyszczytowej przyspieszeń drgań. Ustalono ponadto, że warunkiem uzyskania zadowalającej dokładności oszacowania luzu zaworów na podstawie wartości szczytowej i międzyszczytowej przyspieszeń obliczonych z sygnału drganiowego jest poddanie szeregow czasowych wstępnej obróbce polegającej

na selekcji czasowej. Zastosowanie skali logarytmicznej pozwoliło zastosować aproksymacją linią prostą a nie wykładniczą jak w pracy [4]. Zastosowanie do aproksymacji funkcji liniowej znacznie upraszcza szacowanie luzu zaworów. Dalsze prace dotyczące możliwości oceny luzu zaworów będą obejmowały badania zmierzające do zastosowania analizy częstotliwościowej w opisie zjawisk zachodzących w układzie rozrządu silnika spalinowego. Przewiduje się również weryfikację na silniku z automatyczną kompensacją luzów zaworowych.

LITERATURA

- [1] Cempel Cz.: *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1982.
- [2] Czechyra B., Szymański G., Tomaszewski F.: *Ocena luzu zaworów silnika spalinowego w oparciu o parametry drgań – założenia metodyczne*. Silniki Spalinowe nr 1/2004(118)
- [3] Szymański G.: *Ocena stanu regulacji zaworów silnika spalinowego za pomocą sygnału drganiowego*. Praca magisterska. Politechnika Poznańska, Poznań 2000.
- [4] Tomaszewski F., Czechyra B., Szymański G.M.: *Wykorzystanie miar punktowych sygnału drganiowego do oceny wybranych parametrów regulacyjnych układu rozrządu silnika spalinowego*, Pojazdy Szynowe 3-4/2004.
- [5] Tomaszewski F.: *Zastosowanie procesów wibroakustycznych do oceny stanu technicznego silnika spalinowego lokomotywy*. Praca doktorska. Politechnika Poznańska, Poznań 1987.



Dr hab. inż. **Franciszek TOMASZEWSKI** jest profesorem w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Główne zainteresowania naukowe dotyczą diagnostyki wibroakustycznej pojazdów

i ich zespołów a także oceny poziomu drgań i hałasu pojazdów i środowiska transportu lądowego.



Dr inż. **Grzegorz M. SZYMAŃSKI** jest adiunktem w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Zajmuje się diagnostyką pojazdów i ich zespołów z wykorzystaniem sygnałów wibroakustycznych, a także

oceny poziomu ich drgań i hałasu.